

## Lupenpräparatorische Darstellung der Ausbreitungszüge des Sinusknotens

Benedicto Chuaqui J.\*

Pathologisches Institut der Universität Heidelberg  
(Direktor: Prof. Dr. Wilhelm Doerr)

Eingegangen am 10. Februar 1972

### Stereomicroscopic Demonstration of the Extensions of the Sinus Node

*Summary.* With the aid of the stereomicroscope we studied the sinus node and its extensions in ten formalin-fixed human hearts. To check the validity of these studies we then examined histologic sections. We were able to demonstrate four groups of specific fibers: the sinu-caval fibers from the upper margin of the node, the anterior sinu-auricular fibers from the head of the node, the posterior sinu-auricular fibers from the tail of the node, and from the inferior margin of the node the lateral sinu-auricular fibers, which coursed in part subepicardially, in part intramurally. Three groups of nonspecific fibers served as a connecting bundle with the left atrium: Bachmann's bundle from the head of the node, the accessory bundle from the anterior ring musculature of the superior vena cava, and Tandler's fibers posteriorly. Wenckebach's bundle proved to be a broad bundle connecting the superior vena cava and the right atrium. With the method of study employed we could demonstrate no bundle connecting the sinus node with the A-V node.

*Zusammenfassung.* An 10 in Formalin fixierten menschlichen Herzen wurde der Sinusknoten und seine Ausbreitungszüge luppenpräparatorisch untersucht. Schnitte erfolgten als mikroskopische Kontrolle. 4 Gruppen spezifischer Fasern ließen sich darstellen: Vom oberen Knotenrand die sinucavalen Fasern, vom Knotenkopf das vordere sinuauriculäre Bündel, vom Knotenschwanz das hintere sinuauriculäre Bündel und vom unteren Knotenrand die lateralen sinuauriculären Fasern. Diese letzten verliefen teils subepicardial, teils intramuskulär.

Als Verbindungsbündel zum linken Vorhof waren 3 Gruppen nicht spezifischer Fasern darstellbar: Vom Knotenkopf das Bachmannsche Bündel, von der Ringmuskulatur der Cava superior der akzessorische Faserzug vorn und die Tandlerschen Fasern hinten. Das Wenckebachsche Bündel erwies sich als ein breites Verbindungsbündel zwischen der Cava superior und dem rechten Vorhof. Anhand des angewandten Untersuchungsverfahrens ließ sich kein Verbindungsbündel zwischen dem Sinus- und dem AV-Knoten darstellen.

Die Analyse der einschlägigen Literatur zur Frage, wie sich das Sinusknotengewebe in die Umgebung ausbreitet, hat gezeigt, daß dazu weitere Untersuchungen notwendig sind (Chuaqui, 1971). Zu diesem Zwecke bieten sich hauptsächlich zwei Untersuchungsverfahren an: Die Serienschnitt- bzw. Stufenschnittmethode und die makroskopische Darstellung. Während einige Autoren sich der zuerst genannten Methode bedient haben (Hudson, 1960; James, 1963; Meredith u. Titus, 1968; Mönckeberg, 1910; Thorel, 1909, 1910a, b), ist das zweite Verfahren nur zur Freilegung des Sinusknotens (James, 1961; Koch, 1922; Lev u. Watne,

\* Derzeit Humboldt-Stipendiat.

1954) oder aber zur Darstellung des Atrioventricularsystems (Holl, 1912; Jipp, 1962a, b) angewandt worden. Bei der vorliegenden Untersuchung wird, dem von Schiebler u. Doerr (1963) und Doerr (1969) angegebenen Verfahren folgend, luppenpräparatorisch vorgegangen, wobei Schnitte, u.U. Stufenschnitte, allein zur mikroskopischen Kontrolle der Befunde verwendet werden.

### Material und Methode

Die Untersuchung erfolgte an 10 nicht mißgebildeten Herzen ohne Rücksicht auf sonstige pathologische Prozesse. Rhythmusstörungen, die sich auf Veränderungen des Sinusknotens zurückführen ließen, waren bei keinem Falle bekannt. Alter, Geschlecht und Herzgewicht sind in der Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1. Alter (in Jahren), Geschlecht und Herzgewicht der untersuchten Fälle

Fallnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sk./Nummer	1086	1106	1149	1153	1218	1230	1265	1314	1316	1325
Alter	63	66	4	7	19	21	76	66	33	45
Geschlecht	♂	♂	♀	♂	♂	♂	♀	♀	♂	♀
Herzgewicht	380	435	90	125	490	320	390	310	460	350

Alle Obduktionen wurden 1971 durchgeführt. Nach Ausstopfung der Vorhöfe und des Endabschnittes der Cava superior mit Watte wurden die Herzen 2—6 Tage lang in 8%igem Formalin fixiert und danach 12—24 Std gewässert. Das Epikard des linken Vorhofs und der beiden Herzohren wurde mit Hilfe einer 4fach verstärkenden Uhrmacherlupe der Firma Zeiss abgelöst, das restliche Epikard an einem Zeiss-Stereomikroskop unter einer 10 bis 20fachen Vergrößerung abpräpariert. Bei den Herzen, an denen subepikardiales Fettgewebe in der Gegend des Sinusknotens zu reichlich vorhanden war, wurden die Vorhöfe nach Ablösung des gesamten Epikard von den Kammern abgetrennt und in ein Gemisch von Chloroform (3 Teile) und Methanol (1 Teil) für 12 Std und anschließend für 24 Std in 80%igen Alkohol gebracht. Die Abpräparierung des Sinusknotengebietes erfolgte bei allen Herzen unter dem Stereomikroskop mit Hilfe von Uhrmacherinstrumenten (Pinzetten und Skalpellen; Scheren wurden nur ausnahmsweise verwendet). Die Schnitte zur lichtmikroskopischen Kontrolle wurden von Fall zu Fall in verschiedenen Richtungen gelegt, um eine räumliche Darstellung der betreffenden Faszikel zu ermöglichen. So wurde das Bachmannsche Bündel zusammen mit den benachbarten Faszikeln (s. unter *Befunde*) im 1. und 2. Falle an frontalen Stufenschnitten (1:20) untersucht. Der Zusammenhang des Knotenkopfes mit diesem Bündel und der des hinteren Knotenanteils mit der Ringmuskulatur der Cava superior wurden dagegen im 3., 4. und 5. Falle an horizontalen Schnitten dargestellt. Im 6. und 7. Falle erfolgten die Schnitte durch die Längsachse des Knotenschwanzes, um dessen Beziehung zum Wenckebachschen Bündel zu untersuchen. Zur Darstellung des hinteren Knotenabschnittes und der Crista terminalis dienten im 8., 9. und 10. Falle quer durch diese beiden Strukturen durchgeführte Schnitte. Im 1., 6., 7., 8., 9. und 10. Falle wurden zusätzlich Schnitte entlang des engen Kanals untersucht, der zwischen dem oberen Recessus des Vorhofs und der Cava superior vom Knotenkopf zur vorderen Vorhofswand verläuft. Die Tandlerischen Fasern wurden allein an horizontalen Schnitten im 1., 2., 3., 4. und 5. Falle dargestellt. Schließlich wurde das Wenckebachsche Bündel in seiner Längsachse bis zur Cava superior in den ersten beiden Fällen untersucht. Die Gewebestreifen wurden in Paraffin eingebettet, davon 6  $\mu$  dicke Schnitte hergestellt und mit Hämatoxylin-Eosin gefärbt. Die Schnitte derjenigen Fälle, die mit dem Chloroform-Methanol-Gemisch behandelt wurden, zeigten nur eine leichte bis mäßig starke Gewebs- und Kernschrumpfung.

## Befunde

### *I. Sinusknoten*

Dieses Gebilde zeigte an allen untersuchten Herzen eine konstante Position: Er erstreckte sich entlang des Sulcus terminalis vom oberen Auricularrecessus vorn bis zum oberen Rand des Wenckebachschen Bündels hinten (s. Lev u. Watne, 1954). Allein an diesem letzten Muskelzug war sein Kontur verhältnismäßig scharf abgegrenzt. Sein vorderer Anteil, der Kopf, zersplittert sich dagegen hinter dem genannten Recessus in zahlreiche Fäserchen, die sich sowohl an der Cava als auch zwischen ihr und dem Recessus verfolgen ließen. Sein auriculärer, d.i. unterer Rand war leicht konvex oder fast geradlinig, sein venöser, oberer Rand leicht bis stark konvex. Der Knoten zeigte eine kompakte Struktur, die besonders am Kopf und am venösen Rande in ein lockeres Maschengeflecht überging. Die folgenden Meßwerte wurden mit bloßem Auge bestimmt:

Tabelle 2. Meßwerte des Sinusknotens (in mm angegeben)

Fallnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Länge	20	16	9	13	22	15	17	14	18	16
Max. Breite	5	5	3	3	6	3	6	4	4	4

Im 5. Falle fand sich die maximale Breite an der vorderen Knotenhälfte, wodurch er rüben- oder kometförmig erschien. Beim 7. und 10. Falle bot er wegen seines stark konvexen venösen Randes einen halbmondförmigen Kontur. Hervorzuheben ist die gegenseitige Lagebeziehung des Sinusknotens und des Wenckebachschen Bündels: Die Längsachse des Knotens bildete mit der Verlaufsrichtung des Bündels einen nach oben und innen gerichteten, weiten spitzen Winkel, der in einigen Fällen fast 90° erreichte (Abb. 1).

### *2. Spezifische Faserzüge*

a) *Hintere sinuauriculäre Fasern.* Wird die Längsachse des Knotens durch einen Schnitt nach hinten verlängert, dann kommt ein Bündel spezifischer Fasern zum Vorschein, das als Ausläufer des Knotenschwanzes unter dem Wenckebachschen Bündel verläuft (Abb. 2). Diese submuskulär verlaufenden Fasern sind also von außen nicht sichtbar. An den untersuchten Schnitten zeigten sie eine maximale Länge von etwa 8 mm.

b) *Vordere sinuauriculäre Fasern.* An allen untersuchten Herzen konnten vom Knotenkopf feine Fasern verfolgt werden, die entlang des Kanals zwischen Cava superior und Auricularrecessus nach vorn verliefen und vom Grunde dieses Kanales an der Vorderfläche des rechten Vorhofs herabstiegen. Diese Fasern bildeten ein zartes, 0,5—1 mm dickes Bündel, dessen grauweiße Farbe auch an der Vorderfläche des Vorhofs erkennbar war. Das Bündel ließ sich an der Vorderfläche des Vorhofs 20 mm weit (im Falle 8) verfolgen, wo es senkrecht verließ. Nur im 1. Falle stieg es vom erwähnten Kanal schräg nach links ab.

c) *Sinucavale Fasern.* Vom oberen Rande des Knotens strahlten an der rechten Fläche der Cava superior feine aufsteigende Fasern fächerförmig aus, die sich 1 cm weit nach oben verfolgen ließen. Die vorderen Fasern zogen schräg nach

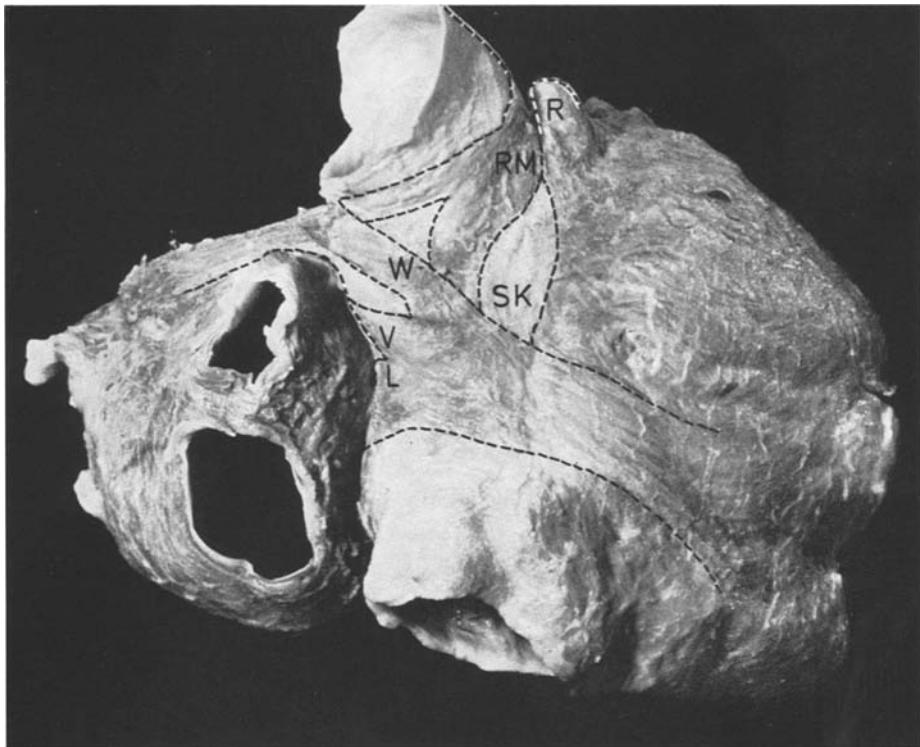


Abb. 1. Vorhöfe und Hohlvenen nach Ablösung des Epikards und Freilegung des Sinusknotens. Ansicht von oben hinten. Der halbmondförmige Sinusknoten liegt im Sulcus terminalis zwischen dem Auricularrecessus (oben im Bild) und dem Wenckebachschen Bündel hinten. Der Endabschnitt dieses Bündels verläuft an der Hinterfläche der Cava superior. Zwischen beiden Hohlvenen ist der Fasciculus Loweri erkennbar. Grenzlinien folgender Strukturen punktiert: Sinusknoten (*Sk*), Ringmuskulatur (*RM*) der Cava superior, Auricularrecessus (*R*), Wenckebachsches Bündel (*W*), Fasciculus interauricularis verticalis (*V*), Fasciculus Loweri (*L*). 7. Fall

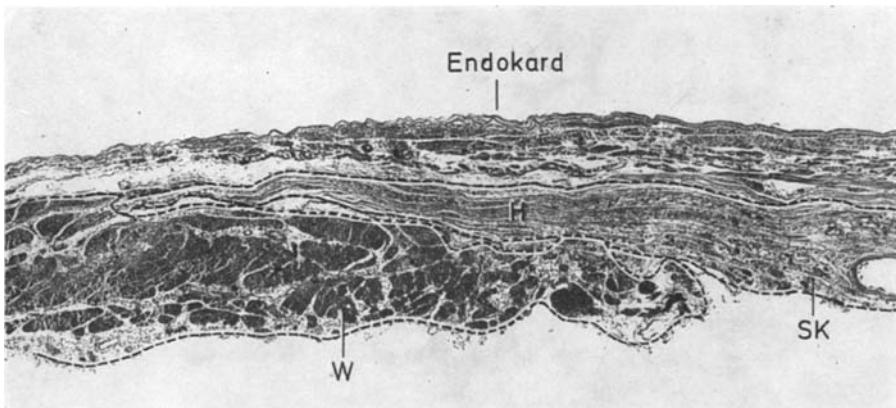


Abb. 2. Schnitt durch die Längsachse des Sinusknotens. Die hinteren sinuauriculären Fasern ziehen unter dem quer getroffenen Wenckebachschen Bündel. Punktiert: Grenzzone des Wenckebachschen Bündels (*W*), gestrichelt: Begrenzung der hinteren sinuauriculären Fasern (*H*) und des hinteren, an der subepikardialen Fläche sichtbaren Knotenanteiles (*Sk*). Das Epikard ist abgetragen. ca. 20fach. H-E. Derselbe Fall wie in Abb. 1

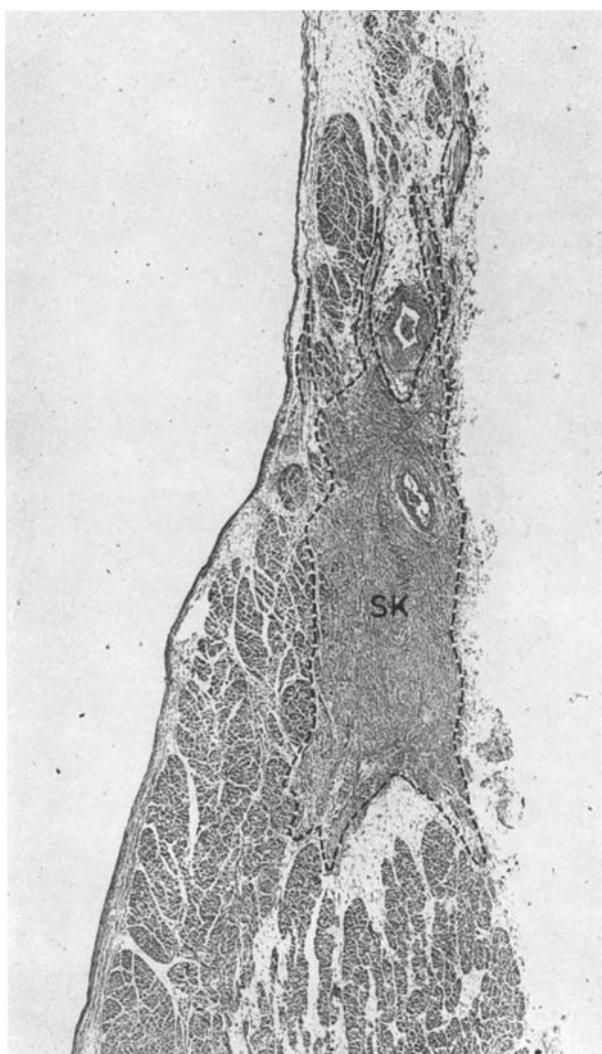


Abb. 3. Querschnitt durch den Sinusknoten (*Sk*). Rechts im Bild die subepikardiale Fläche (das Epikard ist abgetragen). Vom oberen Knotenrand verlaufen die sinucavalen Fasern teils subepikardial, teils zwischen der Ringmuskulatur der Cava entlang. Am unteren Knotenrand zwei stumpfe Ausläufer des Knotens, die dem Ursprung der intramuskulären (links im Bild) und der subepikardialen (rechts im Bild) Sinuauricularfasern entsprechen. ca. 20fach.  
H-E. 9. Fall

vorn, die medialen senkrecht nach oben und die hinteren wiederum schräg bis zur Horizontale. Diese hinteren, vom oberen Rande des Knotenschwanzes ausgehenden Fasern verliefen horizontal durch den Winkel, den die Knoten-Längsachse und das Wenckebachsche Bündel bilden. In 3 Fällen (2., 7. und 10.) ließen sich diese Fasern, nachdem sie das Wenckebachsche Bündel erreicht hatten, an dessen rechtem Rande in einer kurzen Strecke nach oben verfolgen. An den

Querschnitten durch den Knoten zeigt es sich, daß die sinucavalen Fasern nicht nur an der subepikardialen Fläche, sondern auch tief zwischen der Ringmuskulatur der Cava aufsteigen (Abb. 3).

*d) Laterale sinuauriculäre Fasern.* Vom auriculären Knotenrande aus waren auch feine grauweiße Fäden in der Muskulatur des Herzohres sichtbar, die im Unterschied zu den sinucavalen Fasern etwas dicker, jedoch weniger zahlreich waren. Unmittelbar hinter dem Auricularrecessus gelang es in allen Fällen, ein zartes Bündel nachzuweisen, das sich im 8. Falle 8 mm weit fast senkrecht nach unten verfolgen ließ. Diese Fäden, die an dem hinteren Knotenanteil spärlicher waren, verloren innerhalb weniger Millimeter ihre helle Farbe und schienen fließend in die Vorhofsmuskulatur überzugehen. An den Querschnitten durch den Knoten kamen weitere absteigende Ausläufer des unteren Knotenrandes zum Vorschein, die fast symmetrisch zu den subepikardialen Fasern tief in die Vorhofsmuskulatur bis in die Crista terminalis hinein vordrangen (Abb. 3). Die Verlaufsrichtung dieser Fortsätze war also senkrecht zur Längsachse der Crista terminalis. Die lateralen sinuauriculären Fasern lassen sich anhand dieses Befundes in oberflächliche, subepikardiale und tiefe, intramuskuläre Fasern unterteilen. An manchen Präparaten bietet der Querschnitt des Sinusknotens ein Bild, das mit einem Neuron mit drei dendritischen Fortsätzen vergleichbar ist: in der Mitte der dreieckig konturierte Knoten mit seiner Zentralarterie, von seinem oberen Winkel ausgehend die sinucavalen und von beiden Kanten entspringend jeweils die lateralen sinuauriculären Fasern. Die intramuskulären Fortsätze waren von einer dünnen Scheide lockeren Bindegewebes umgeben und bestanden aus dicken, eosinophilen Muskelfasern, die denen der Atrioventricularschenkel gleichen. Man muß darauf hinweisen, daß der Sulcus coronarius und die Crista terminalis sich allein in ihren vorderen Ursprungsabschnitten in der gleichen vertikalen Ebene befinden. Nach hinten unten aber weichen sie auseinander; die Crista terminalis verläuft lateralwärts vom Knotenschwanz und von der Valvula Eustachii und sie zersplittert sich erst am Vorhofsboden in mehrere Trabekel, von denen die medial gelegene sich wieder der Valvula nähert.

### 3. Nicht spezifische Faserzüge

*a) Die Ringmuskulatur der Cava superior.* Der Sinusknoten hängt mit der Ringmuskulatur der Cava fest zusammen. Diese Verbindung, die sich auch mikroskopisch darstellen läßt (Abb. 4), erfolgt am Kopf des Knotens und an dessen oberem Rande. An allen untersuchten Herzen ließ sich um die Cavaeinmündung herum ein ununterbrochener Muskelring nachweisen, der zum größten Teil von der Ringmuskulatur gebildet und nur etwa in einem Viertel seines Umfanges vom Knoten selbst ergänzt war. Dieser Muskelring wird in seinem hinteren Umfang vom Endabschnitt des Wenckebachschen Bündels teils überdeckt, teils durchquert.

*b) Das Bachmannsche Bündel.* Das Bachmannsche Bündel nimmt die Form eines kompakten, scharf abgegrenzten Muskelzuges erst an der Vorderfläche der Cava superior an (Abb. 5). Dort ist es mit der unten liegenden Ringmuskulatur eng verbunden. Seine Fasern lassen sich jedoch makro- und mikroskopisch bis zum Knotenkopf verfolgen (Abb. 4). Von dem erwähnten scheinbaren Ursprungspunkte aus, verläuft es nach links fast horizontal und parallel zu dem Fasciculus

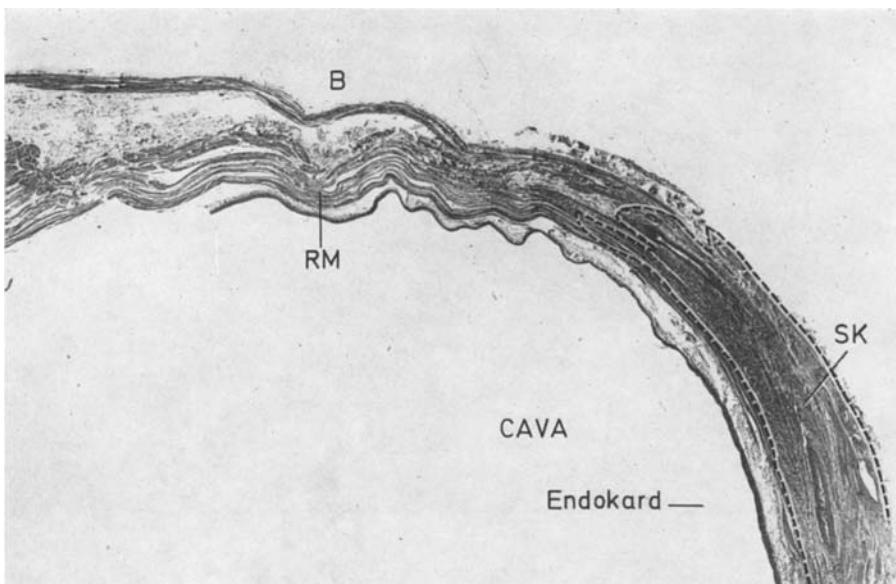


Abb. 4. Horizontalschnitt durch den Sinusknoten. Ansicht von oben. Rechts unten im Bild ist der Knotenkopf sichtbar (*Sk*). Damit hängen das Bachmannsche Bündel (*B*) und die Ringmuskulatur (*RM*) der Cava zusammen. Das Epikard ist abgetragen. ca. 8fach. H-E. 5. Fall

interauricularis horizontalis, mit dem es einen nach rechts stark spitzen Winkel bildet (Abb. 5). Von dem Punkte aus, wo das Bündel mit dem zuletzt genannten Faszikel zusammenläuft, lassen sich seine Fasern links am oberen Rande und an der Hinterfläche dieses Faszikels weiter verfolgen. Allein von diesem Punkte aus nach links lässt sich also das Bachmannsche Bündel als eine Komponente des Fasciculus interauricularis horizontalis betrachten. In 9 Fällen zeigte sich das Bündel als ein 0,5—1,5 mm dicker Muskelstrang; im 5. Falle war es bandförmig, 2 mm breit und 1 mm dick. Seine Länge, die zwischen 8 mm und 28 mm schwankte, wurde von dem scheinbaren Ursprungsort bis zur Verbindungsstelle mit dem Fasciculus interauricularis horizontalis gemessen.

Da dieser letzte Faszikel eigentlich nur zur Vorhofsmuskulatur gehört, wird er hier nur ganz knapp beschrieben. Der Faszikel stellt oben an der Vorderwand des linken Vorhofes einen 4—10 mm dicken, nach oben konvexen Muskelbogen dar, der manchmal seine horizontale Hauptrichtung ändert und über ein ausgeprägtes Knie schräg nach links unten verläuft. Sein Endabschnitt zersplittert sich in Fasern, die an dem Vorhoftsdache sowie auch an der oberen und unteren Fläche des linken Herzohres verlaufen. Rechts entspringt er fächerförmig aus der Vordermuskulatur des rechten Vorhofs und des Septum atriorum. In diesem breiten Ursprungsfächer sind meistens seine verschiedenen, an den linken Vorhof zusammenlaufenden Muskelzüge vom Auricularrecessus bis zum Septum einschließlich erkennbar. In 4 Fällen ging vom oberen Rand des Faszikels ein etwa 1 mm dicker Muskelstrang ab, der unter dem Bachmannschen Bündel schräg nach hinten zum Vorhoftsdach verlief.

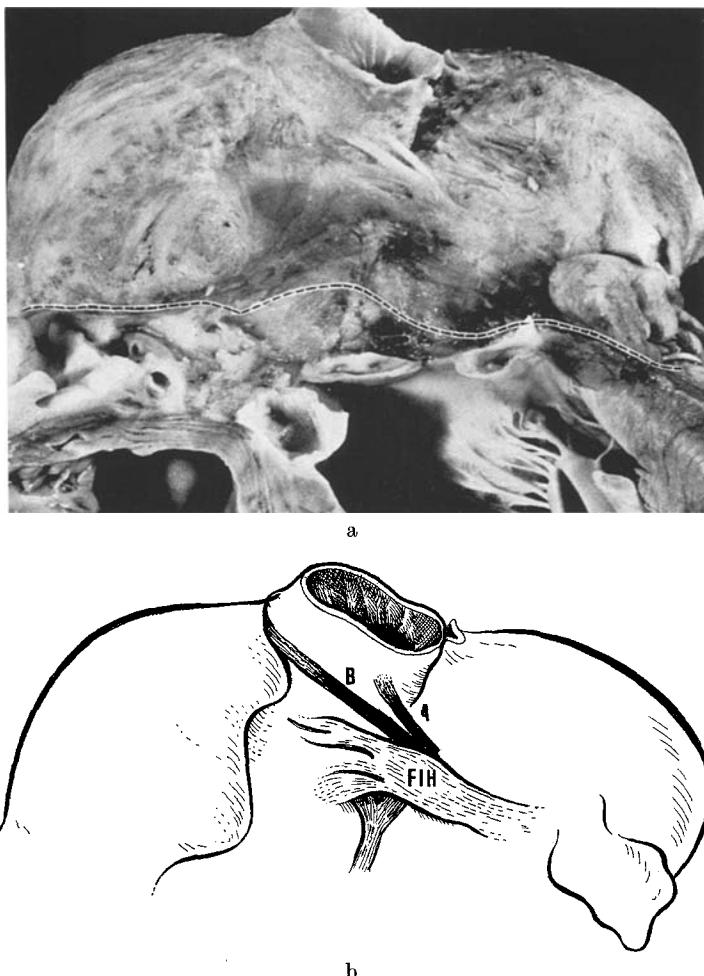


Abb. 5. a Vorhöfe nach Entfernung des Epikards. Ansicht von vorn. Von der Vorderfläche der Cava superior zieht schräg nach links das bandförmige Bachmannsche Bündel bis zum Fasciculus interauricularis horizontalis. Fast parallel zu diesem Bündel verläuft hinten oben der akzessorische Muskelzug bis zum linken Vorhof. b Schema zu a: *B*: Bachmannsches Bündel, *A*: Akzessorischer Muskelzug, *FIH*: Fasciculus interauricularis horizontalis. Das Schema soll die oberhalb der punktierten Linie in Abb. 5a erkennbaren Fasikel verdeutlichen. 5. Fall

*c) Das akzessorische Bündel.* In der Nachbarschaft des Bachmannschen Bündels war ständig ein feiner Muskelzug abpräparierbar, der dem ventro-medialen Viertel des Cavatrichters entsprang und zum linken Vorhof zog (Abb. 6). Der Ursprungspunkt fand sich hinter dem Bachmannschen Bündel bald in einer höheren Ebene (Abb. 5), bald in einer tieferen. In 4 Fällen endete er neben dem Bachmannschen Bündel am linken Vorhof, in den übrigen bis 3 mm dahinter. Sein Verlauf war horizontal oder schräg von rechts oben nach

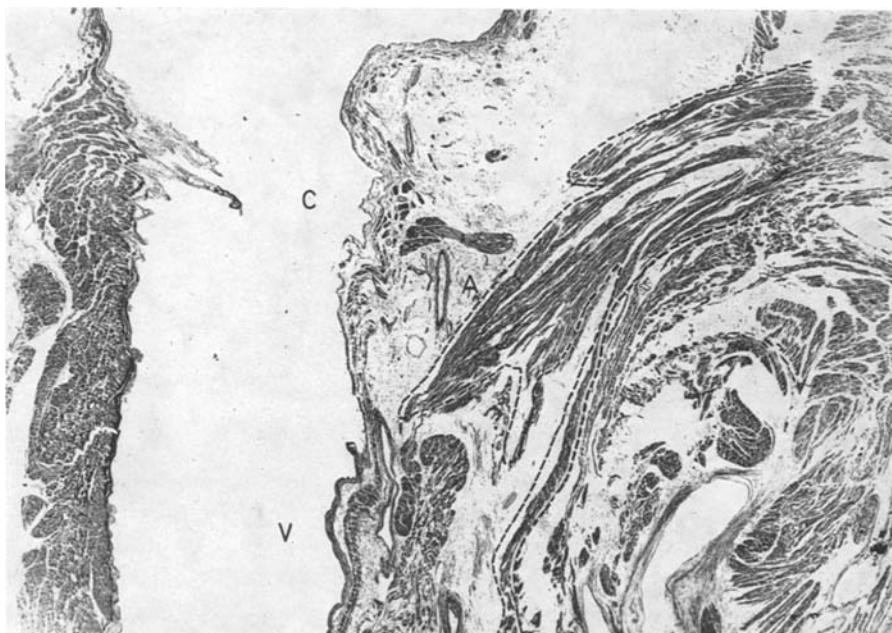


Abb. 6. Frontalschnitt durch die Cava superior (C) und den rechten Vorhof (V). Der Schnitt trifft den mächtigen Fasciculus interauricularis horizontalis, dessen septale, fast vertikal verlaufende Komponente erkennbar ist (punktierter Abschnitt). Das winzige akzessorische Bündel liegt horizontal über einer schräg getroffenen Arterie (A). ca. 10fach. H.-E. 2. Fall

links unten. In 6 Fällen zeigte er sich als ein einziger, 0,5—1 mm dicker Muskelstrang, an den restlichen Herzen bestand er aus 2—4 dicht zueinander verlaufenden Muskelfäden. In 2 Fällen konnte der schräg nach unten, hinter dem Bachmannschen Bündel verlaufende Muskelzug bis in den oberen Anteil des Septum atriorum hinein verfolgt werden. Seine Abpräparierung war besonders schwierig wegen des in dieser Gegend reichlich vorhandenen Fett- und Bindegewebes. Mikroskopisch ließ sich sein Ursprung aus der Ringmuskulatur feststellen. Das beschriebene Bündel war 5—14 mm lang.

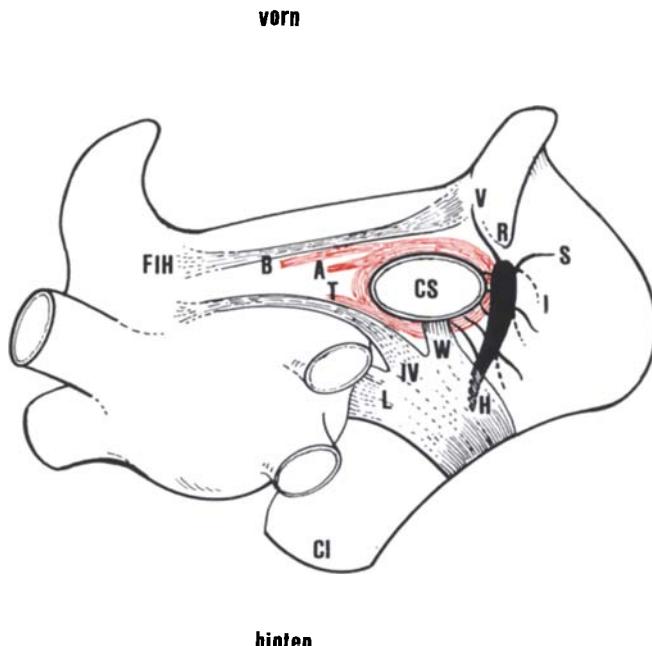
*d) Die Tandlerschen Fasern.* Diese Fasern entstehen ebenfalls aus der Ringmuskulatur der Cava, nun jedoch aus dem dorso-medialen Viertel des Cava-trichters (s. Tandler, 1913). Sie verlaufen in einer horizontalen Ebene schräg nach links vorn und zersplittern sich in der Muskulatur des linken Vorhofs unmittelbar hinter dem akzessorischen Bündel. Diese Fasern stellen keinen kompakten Muskelzug dar und verlaufen an der rechten Fläche des Fasciculus interauricularis verticalis (Tandler, 1913; Wolhynski, 1928). Meßwerte ließen sich nicht genau bestimmen, denn das Faserbündel setzte sich gegen das benachbarte Muskelgewebe nicht scharf ab. Die dem angegebenen, von oben gesehen Z-förmigen Verläufe entsprechende Strecke maß zwischen 11 und 20 mm.

*e) Das Wenckebachsche Bündel.* Dieses Bündel erweist sich als ein flaches, breites Muskelband an der Hinterfläche des rechten Vorhofs (Abb. 1). Es lässt

sich nur an seinem rechten Rande und oberen Abschnitte gegen das Nachbargewebe abgrenzen. Obgleich das Muskelband einer Bindegewebshülle entbehrt (Doerr, 1969), kann es wegen der Verlaufsrichtung seiner Fasern an den angeführten Bezirken abgegrenzt werden. Es zieht vom lateralalen, hinteren Winkel des rechten Vorhofs unten schräg nach links oben bis an die Hinterfläche der Cava superior. Auf die Beziehung des Bündels zum Sinusknoten ist schon hingewiesen worden. Sein oberer Endabschnitt zeigt sich als ein zungenförmiger Ausläufer, dessen Breite zwischen 4 und 6 mm und dessen Länge zwischen 3 und 20 mm von Fall zu Fall schwankte. Die oberflächlichen Fasern dieses Abschnittes endeten frei an der Cava, die tieferen Fasern hingen mit der darunter liegenden Ringmuskulatur zusammen, wobei eine Y-förmige Gabelung entstand, deren senkrechter Ast dem Wenckebachschen Bündel entsprach und die divergierenden Äste der Ringmuskulatur. Nach links geht das Muskelband fließend in den Fasciculus interauricularis verticalis über. Weiter nach links findet sich noch ein Muskelband, das von den rechten Pulmonalvenen zum rechten Vorhof zieht (s. Papez, 1920; Wolhynski, 1928). Entfernt man dieses letzte Band, dann tritt darunter ein breiter Muskelzug hervor, der von rechts hinten bogenförmig schräg nach links vorn in das Septum atriorum verläuft und zwischen beiden Hohlvenen eine sanfte Einschnürung bedingt. Dieses Muskelband, das mit dem Fasciculus interauricularis verticalis an der Hinterfläche des rechten Vorhofs zusammenläuft, ist der Fasciculus Loweri (Abb. 1).

### Besprechung

Zur Diskussion seien zunächst die Befunde schematisch zusammengefaßt (Abb. 7). Zu ähnlichen Ergebnissen kam Mönckeberg (1910), der 5 Gruppen spezifischer Fasern ganz knapp beschrieb (s. auch Chuaqui, 1971). Die sinu-cavalen Fasern entsprechen bei ihm der 1. Gruppe (hintere sinucavale Fasern) und der 3. Gruppe (vordere sinucavale Fasern). Condorelli (1929), der sich auf diese Arbeit Mönckebergs berufen hat, unterscheidet auch einen Fasciculus sinuvenosus superior und einen Fasciculus sinuvenosus inferior. James hat ebenfalls diese Fasern in 2 Gruppen schematisch dargestellt (1961, Abb. 1, S. 111). Diese Einteilung erscheint jedoch in dem Sinne konventionell, daß solche Fasern an dem ganzen rechten Umfange des Cavatrichters vorkommen. Klar ist, daß es sich mehr um an der Cava verstreuete Fasern handelt als um zwei kompakte Faserbündel. Im Gegensatz dazu lassen sich die hier vordere bzw. hintere sinu-auriculäre genannten Fasern jeweils als ein Faserbündel auffassen. Bei Condorelli entsprechen die vorderen sinuauriculären Fasern dem Fasciculus sinuauricularis anterior, bei Mönckeberg der 2. Fasergruppe. Die hinteren sinuauriculären Fasern wurden von diesem Forscher als hintere Fortsetzung des Knotens unter dem Wenckebachschen Bündel beschrieben (4. Gruppe; bei Condorelli: Fasciculus sinuauricularis inferior). Diese Beziehung des Knotenschwanzes zum Wenckebachschen Bündel findet sich bei Aschoff (1910) dargestellt. Die hintere Fortsetzung des Knotenschwanzes konnte von Mönckeberg an Serienschnitten nach hinten bis ins Septum atriorum weit oberhalb des oberen Randes der Cava inferior zuweilen verfolgt werden. Es liegt also nahe, daß diese Fasern dem von Thorel (1909, 1910a, b) beschriebenen Bündel entsprechen.



## hinten

Abb. 7. Schematisch dargestellte Ausbreitungszüge des Sinusknotens. Ansicht von oben. Schwarz: Sinusknoten und spezifische Fasern: *V* vordere sinuauriculäre Fasern, *H* hintere sinuauriculäre Fasern, *S* subepikardiale Sinuauricularfasern, *I* intramuskuläre Sinuauricularfasern (punktiert); vom linken Knotenrand zur Cava superior (*CS*) die sinucavalen Fasern. Rot: Ringmuskulatur der Cava und nicht spezifische Fasern: *B* Bachmannsches Bündel, *A* Akzessorisches Bündel, *T* Tandlersche Fasern. Konturiert: *W* Wenckebachsches Bündel, *JV* Fasciculus interauricularis verticalis, *L* Fasciculus Loweri, *FIH* Fasciculus interauricularis horizontalis, *R* Auricularrecessus, *CI* Cava inferior

Als 5. Gruppe beschrieb Mönckeberg Fasern, die etwa von der Mitte des Knotens aus ziemlich senkrecht abwärts zögen. Sie lassen sich also den hier als lateral sinuauriculär bezeichneten Fasern und dem auf der Außenseite des rechten Vorhofs verlaufenden Fasciculus sinuaurikularis superior Condorelli gleichsetzen. Daß einige dieser Fasern subepicardial, andere dagegen intramuskulär verlaufen, wird von diesen Forschern nicht erwähnt. Eine Abbildung beider Verlaufsrichtungen findet sich jedoch bei Hudson (Abb. 5A, S. 159, 1960).

Die erhobenen Befunde lassen sich also mit den Ergebnissen von Mönckeberg und Condorelli in Einklang bringen: Die sinucavalen und sinuaurkulären Fasern verlaufen demnach jeweils in eine andere Richtung von beiden Knotenpolen und -rändern aus. Dadurch ist der Sinusknoten in der Cava superior und dem rechten Vorhof verankert. Ob diese histologisch spezifischen Fasern etwa bis zum Atrioventricularknoten verfolgt werden können, läßt sich anhand des hier angewandten Untersuchungsverfahrens nicht feststellen.

Die Verbindungen des Sinusknotens und der Ringmuskulatur mit dem linken Vorhof erfolgen durch Faserzüge, die, soweit es sich feststellen ließ, aus gewöhnlicher Muskulatur bestehen: Das Bachmannsche Bündel, der akzessorische Muskelzug und die Tandlerschen Fasern.

Das Bachmannsche Bündel, wie von Papez (1920) beschrieben, entspringt vom Knotenkopf und wird zu einer Komponente des Fasciculus interauricularis horizontalis erst etwa vor dem Sulcus interauricularis anterior. Nach Bachmanns Originaldarstellung des Bündels (1916; s. auch Chuaqui, 1971) war eigentlich der ganze Fasciculus interauricularis horizontalis („inter-atrial band“) Gegenstand der Untersuchung, und nicht allein die davon isolierte, ziemlich feine Komponente. Immerhin ist es zweckmäßig, die Bezeichnung „Bachmannsches Bündel“ für den vom Sinusknoten ausgehenden Muskelzug vorzubehalten. Ein Faserzug, der als senkrechter Ast des Bachmannschen Bündels im Septum atriorum verlaufe, wie von Condorelli (1929) und James (1963) beschrieben, ließ sich in der vorliegenden Untersuchung nicht nachweisen. In der Nähe des Bachmannschen Bündels fand sich jedoch der hier als akzessorisches Bündel bezeichnete Faserzug, der aber von der Ringmuskulatur ausging. Diesem Ursprungsort nach läßt sich das akzessorische Bündel keinem bisher beschriebenen Faserzug gleichsetzen, obschon es in 2 Fällen bis ins Septum atriorum hinein verfolgt werden konnte. Ob dieses Bündel bis zum AV-Knoten weiter nach unten verläuft, muß hier offen bleiben. Das akzessorische Bündel und die Tanderschen Fasern haben gemein, daß beide der Ringmuskulatur entspringen.

Das Wenckebachsche Bündel zeigt sich als ein breites Verbindungsband zwischen der Cava superior und der Hinterfläche des rechten Vorhofs. Unsere Befunde stimmen genau mit der Originaldarstellung Wenckebachs (1906, 1907) überein und auch mit der kurz darauf erschienenen Beschreibung Schönbergs (1909). Sein anatomisches Verhältnis zum Sinusknoten erweist sich als eine Nachbarschaftsbeziehung (s. auch Lev, 1954). Das Muskelband geht nach links fließend in den kräftigen Fasciculus interauricularis verticalis über, der auch in der Originaldarstellung abgebildet ist (Wenckebach, 1907). Noch weiter entfernt vom Sinusknoten, und zwar links unten von dem Fasciculus interauricularis verticalis aus, verläuft der Fasciculus Loweri. Weder die Ansicht Condorellis, daß der Fasciculus Loweri ein direktes Verbindungsband zwischen Sinus- und AV-Knoten sei, noch die Auffassung James, daß eine solche Bahn über das Wenckebachsche Bündel erfolge, läßt sich anhand der erhobenen Befunde vertreten.

### Literatur

- Aschoff, L.: Referat über die Herzstörungen in ihren Beziehungen zu dem spezifischen Muskelsystem des Herzens. Verh. dtsch. path. Ges. **14**, 3—35 (1910).
- Bachmann, G.: The inter-auricular time interval. Amer. J. Physiol. **41**, 309—320 (1916).
- Chuaqui, B.: Über die Ausbreitungsbündel des Sinusknotens. Eine kritische Analyse der wichtigsten Arbeiten. Virchows Arch. Abt. A Path. Anat. **355**, 179—208 (1972).
- Condorelli, L.: Über die Bahnen der Reizleitung vom Keith-Flackschen Knoten zu den Vorhöfen. Z. ges. exp. Med. **68**, 493—515 (1929).
- Doerr, W.: Normale und pathologische Anatomie des reizbildenden und erregungsleitenden Gewebes. Verh. dtsch. Ges. Kreisl.-Forsch. **35**, 1—36 (1969).
- Holl, M.: Makroskopische Darstellung des atrioventrikulären Verbindungsbandes am menschlichen und tierischen Herzen. Denkschr. Kaiserl. Akad. Wiss. **87**, 269—295 (1912).
- Hudson, R. E. B.: The human pacemaker and its pathology. Brit. Heart J. **22**, 153—167 (1960).
- James, Th.: The anatomy of the human sinus node. Anat. Rec. **141**, 109—139 (1961).
- James, Th.: The connecting pathways between the sinus node and A-V node and between the right and left atrium in the human heart. Amer. Heart J. **66**, 498—508 (1963).

- Jipp, P.: Zur Technik der makroskopisch-präparativen Darstellung des atrioventrikulären Verbindungsgebündels. *Zbl. allg. Path. path. Anat.* **104**, 6—10 (1962a).
- Jipp, P.: Topographie des Atrioventrikularsystems. *Z. Kreisl.-Forsch.* **51**, 698—707 (1962b).
- Koch, W.: Der funktionelle Bau des menschlichen Herzens. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg 1922.
- Lev, M., Watne, A. L.: Method for routine histopathologic study of human sinoatrial node. *Arch. Path.* **57**, 168—177 (1954).
- Meredith, J., Titus, J. L.: The anatomic atrial connections between sinus and A-V node. *Circulation* **37**, 566—579 (1968).
- Mönckeberg, J. G.: Zur Frage der besonderen muskulären Verbindung zwischen Sinus- und Atrioventrikulknoten des Herzens. *Zbl. Herz- u. Gefäßkr.* **1**, 1—5 (1910).
- Papez, W.: Heart musculature of the atria. *Amer. J. Anat.* **27**, 255—282 (1920).
- Schiebler, Th., Doerr, W.: Orthologie des Reizleitungssystems. In: *Das Herz des Menschen*, hrsg. von W. Bargmann u. W. Doerr, Bd. I. Stuttgart: G. Thieme 1963.
- Schönberg, S.: Über Veränderungen im Sinusgebiet des Herzens bei chronischer Arrhythmie. *Frankfurt. Z. Path.* **2**, 462—484 (1909).
- Tandler, J.: *Anatomie des Herzens*. Jena: G. Fischer 1913.
- Thorel, Ch.: Vorläufige Mitteilung über eine besondere Muskelverbindung zwischen der Cava superior und dem Hisschen Bündel. *Münch. med. Wschr.* **19**, 2159 (1909).
- Thorel, Ch.: Über den Aufbau des Sinusknotens und seine Verbindung mit der Cava superior und den Wenckebachschen Bündeln. *Münch. med. Wschr.* **19**, 183—186 (1910a).
- Thorel, Ch.: Über die supraventrikulären Abschnitte des sog. Reizleitungssystems. *Verh. dtsch. path. Ges.* **14**, 71—90 (1910b).
- Wenckebach, K. F.: Beiträge zur Kenntnis der menschlichen Herztätigkeit. *Arch. Anat. u. Physiol.* I. Teil: 297—354 (1906). II. Teil: 1—24 (1907).
- Wolhynski, F. A.: Zur Frage von den muskulären Verbindungen der Vorhöfe beim Menschen. *Z. ges. Anat.* **86**, 532—539 (1928).

Prof. Dr. B. Chuaqui J.  
Dpto. de A. Patológica  
U. Católica  
Marcoleta 347  
Santiago/Chile